

Titel der Dissertation: Driving mechanisms of organic carbon burial in the Early Cretaceous South Atlantic and Southern Ocean

Autor: Wolf Dumann

Tag der mündlichen Prüfung: 31.01.2019

Schlagwörter: Frühe Kreide, Unterkreide, Südatlantik, Südozean, DSDP, ODP, Schwarzschiefer, Kohlenstoffsequestrierung, Gateway-Öffnung

Abstract

The Early Cretaceous (~145 Ma to ~100.5 Ma) environment was strongly impacted by the accelerated break-up of Gondwana, which led to the opening of several ocean basins including the South Atlantic and Southern Ocean. These young ocean basins provided favorable conditions for the burial of organic matter, manifested in widespread black shale deposits and petroliferous sedimentary basins along their continental margins. The capacity to store vast amounts of organic carbon turned young ocean basins into large-scale carbon sinks that influenced global carbon cycle dynamics and climate trends during the Early Cretaceous greenhouse. In order to assess the yet uncertain role of individual ocean basins in the global carbon-climate context, a solid understanding of the tectonic and climatic processes that drove regional organic carbon burial on geological (10^6 to 10^7 a) and shorter (10^4 to 10^5 a) timescales is required. Especially in the South Atlantic and the Southern Ocean, these processes are still poorly constrained.

This thesis aims to provide a holistic picture of the tectonic, oceanographic, and biogeochemical evolution of the Early Cretaceous South Atlantic and Southern Ocean, which allows to unravel the mechanisms that controlled organic carbon burial on different timescales. Four complementary paleoceanographic studies were carried out, which together form the basis for a series of conceptual models that capture pivotal stages in the evolution of both basins.

In a first step, a consistent stratigraphic framework for five strategically located drilling sites was developed based on biostratigraphy and new carbon isotope data, which provides a robust chronology of the depositional trends in the South Atlantic and the Southern Ocean.

Combined evidence from sea water-derived neodymium isotope data and general circulation modelling was then used to reconstruct the large-scale ocean circulation pattern in the South Atlantic and Southern Ocean. The results support that changes in ocean circulation associated with the consecutive opening of two marine gateways connecting both basins were the primary driver of local and basin-wide organic carbon burial on geological timescales.

The proposed gateway model was tested by a high-resolution paleoceanographic study at DSDP Site 511 located on the Falkland Plateau, the region where the gateways developed. The presented multi-proxy record reflecting changes in sediment characteristics and water column properties showed that fundamental tectonic and paleoceanographic changes occurred on the Falkland Plateau at the same time as the gateway opened. This synchronicity provides strong support for validity of the proposed gateway model.

Finally, a highly resolved paleoceanographic study was conducted at DSDP Site 361 located in the deep Cape Basin to elucidate the driving mechanisms of multi-millennial-scale organic carbon burial dynamics. The presented inorganic geochemical and lipid biomarker data suggest that multi-millennial-scale changes in organic carbon burial were productivity-driven phenomena. Cyclic variations in paleoproductivity were controlled by fluctuations in riverine nutrient supply from the proximal African continent linked to orbitally-driven changes in the atmospheric circulation.

All four studies collectively provide advanced insights into the paleoenvironmental conditions that controlled organic carbon burial in the Early Cretaceous South Atlantic and Southern Ocean. These results are of importance for the generic understanding of the processes controlling black shale formation in young ocean basins, have implications for the exploration of regional hydrocarbon reserves, might refine existing geodynamic models, and provide the basis for future studies investigating the impact of regional organic carbon burial on the global carbon cycle.

Kurzfassung

Der beschleunigte Zerfall des Superkontinents Gondwana während der frühen Kreide (~145 Ma bis ~100,5 Ma) führte zur Öffnung mehrerer Ozeanbecken, einschließlich des Südatlantiks und des Südozeans, was einen großen Einfluss auf die vorherrschenden Umweltbedingungen hatte. Die Bedingungen in diesen jungen Ozeanbecken begünstigten die Ablagerung großer Mengen organischen Materials, was zur Bildung von Schwarzschiefern in der Tiefsee und Öl- und Gaslagerstätten in Sedimentbecken entlang der Kontinentalränder beitrug. Aufgrund ihrer Fähigkeit, große Mengen organischen Kohlenstoffs zu speichern, stellen junge Ozeanbecken großflächige Kohlenstoffsinken dar, die Einfluss auf die globale Dynamik des Kohlenstoffkreislaufs und das Treibhausklima während der frühen Kreide hatten. Die Rolle der einzelnen Ozeanbecken im globalen Kohlenstoffkreislauf-Klima-Kontext ist jedoch noch weitestgehend ungeklärt. Um diese beurteilen zu können, ist ein solides Verständnis der tektonischen und klimatischen Prozesse erforderlich, die die regionale Ablagerung von organikreichen Sedimenten auf geologischen (10^6 a bis 10^7 a) und kürzeren (10^4 a bis 10^5 a) Zeitskalen antrieben. Vor allem im Südatlantik und im Südlichen Ozean sind diese Prozesse aber noch kaum erforscht.

Diese Dissertation hat es zum Ziel, ein ganzheitliches Bild der tektonischen, ozeanographischen und biogeochemischen Entwicklung des frühkretazischen Südatlantiks und Südlichen Ozeans aufzuzeigen, um die Mechanismen nachvollziehen zu können, die die Ablagerung organikreicher Sedimente auf verschiedenen Zeitskalen kontrollierten. Insgesamt wurden vier aufeinander aufbauende paläozeanographische Studien durchgeführt, die zusammen die Grundlage für eine Reihe konzeptioneller Modelle bilden, die zentrale Phasen in der Entstehung beider Becken aufzeigen sollen. Dafür wurde zunächst eine konsistente Stratigraphie für fünf Sedimentkerne entwickelt, die an strategisch wichtigen Positionen erbohrt wurden. Die Stratigraphie basiert auf biostratigraphischen Methoden und neuen Kohlenstoffisotopendaten und liefert eine detaillierte Chronologie der Sedimentationsgeschichte im Südatlantik und Südlichen Ozean.

Anschließend wurden unter Verwendung von Meerwasser-Neodymisotopensignaturen und Zirkulationsmodellen die großräumigen Ozeanzirkulationsmuster im Südatlantik und Südlichen Ozean rekonstruiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die lokale und beckenweite Ablagerung organikreicher Sedimente durch Veränderungen in der Ozeanzirkulation kontrolliert wurden, die auf geologischen Zeitskalen eng an die Öffnung von zwei Meeresverbindungen gekoppelt waren.

Das daraus resultierende „Gateway-Modell“ wurde anschließend durch eine hochauflösende paläozeanographische Studie am DSDP Kern 511 getestet. Der Kern wurde auf dem Falkland-Plateau erbohrt, der Region, in der sich die Meeresverbindungen öffneten. Die gewonnenen Ergebnisse, die Veränderungen der Sedimentcharakteristika und der Wassersäulenstruktur widerspiegeln, zeigen, dass zeitgleich mit der Öffnung der Meeresverbindungen tiefgreifende tektonische und paläozeanographische Veränderungen auf dem Falkland Plateau stattfanden. Diese Synchronizität unterstützt die Stichhaltigkeit des „Gateway-Modells“.

Zuletzt wurde eine hochauflösende paläozeanographische Studie am DSDP Kern 361 durchgeführt, der im tiefen Südatlantik erbohrt wurde. Der Kern weist zyklische Schwankungen im sedimentären Organikgehalt auf, die mehrere tausend Jahre umfassen. Diese Studie zielte darauf ab, die Antriebsmechanismen der kurzzeitigen Kohlenstoffablagerungsdynamik zu verstehen. Die gewonnenen anorganisch-geochemischen und Lipidbiomarker Daten deuten darauf hin, dass kurzzeitige Veränderungen in der organischen Kohlenstoffakkumulation produktivitätsgetrieben waren. Zyklische Schwankungen in der Paläoproduktivität wurden durch Veränderungen in der fluviatilen Nährstoffzufuhr vom afrikanischen Kontinent kontrolliert, die sich aus orbital-getriebenen Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation ergaben.

Gemeinsam gewähren alle vier Studien erweiterte Einblicke in die Paläoumweltbedingungen, die die Ablagerung von organikreichen Sedimenten im frühkretazischen Südatlantik und Südlichen Ozean kontrollierten. Diese Erkenntnisse vertiefen das generelle Verständnis der Prozesse, die Schwarzschieferbildung in jungen Ozeanbecken kontrollieren und könnten nutzbringend für die Exploration regionaler Kohlenwasserstoffreserven sein. Weiterhin könnten sie zur Verfeinerung bestehender geodynamischer Modelle beitragen sowie die Grundlage für zukünftige Modellierungsstudien bilden, die die Auswirkungen der regionalen Kohlenstoffsequestrierung auf den globalen Kohlenstoffkreislauf abschätzen.